

# Die Energiewende als Innovationstreiber

Technologische Innovationen in den Bereichen erneuerbare Energien und Energieeffizienz bilden eine wesentliche Grundlage der weltweiten Energiesystemtransformation und wirken bei geeigneter Implementierung als Wertschöpfungsmotor. Die Größe und erhebliche Wachstumsdynamik der internationalen Märkte für Energietechnologien und -systeme macht die Positionierung deutscher Unternehmen auf diesen Märkten daher zu einem Thema von sehr weitreichender wirtschaftspolitischer Relevanz. Daraus ergibt sich die Frage, wie Deutschland von einer konsequenten Umsetzung der Energiewende und seiner damit verbundenen Vorreiterfunktion auf den internationalen Märkten für Energietechnologien profitieren kann.

## Globales Marktpotenzial für Energiewende-Technologien

Die globalen Investitionsschwerpunkte für Anlagen zur Erzeugung und Speicherung erneuerbarer Energien haben sich in den vergangenen Jahren von Deutschland in andere Länder verschoben.

Abbildungen 1 und 2 zeigen die geographischen Schwerpunkte der bis Ende 2012 installierten Bestandsanlagen und die im Jahr 2013 neu installierten Windenergie- und PV-Anlagen.



Fraunhofer IWES

Prof. Dr. Clemens Hoffmann  
clemens.hoffmann@iwes.fraunhofer.de

Dr. Stefan Bofinger  
stefan.bofinger@iwes.fraunhofer.de

Wuppertal Institut

Prof. Dr. Manfred Fischedick  
manfred.fischedick@wupperinst.org

FVEE

Dr. Niklas Martin  
niklas.martin@helmholtz-berlin.de

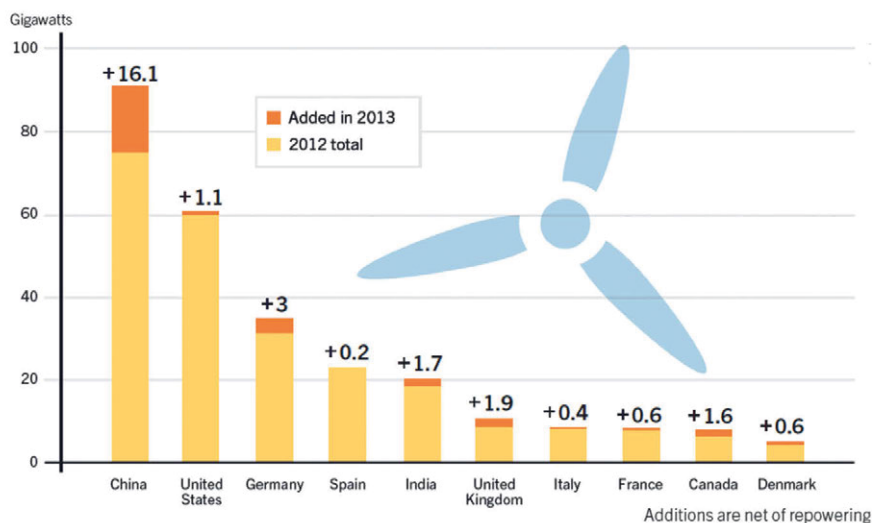


Abbildung 1  
Globale Schwerpunkte installierter Windenergieanlagen

(Quelle: Renewables 2014 Global Status Report)

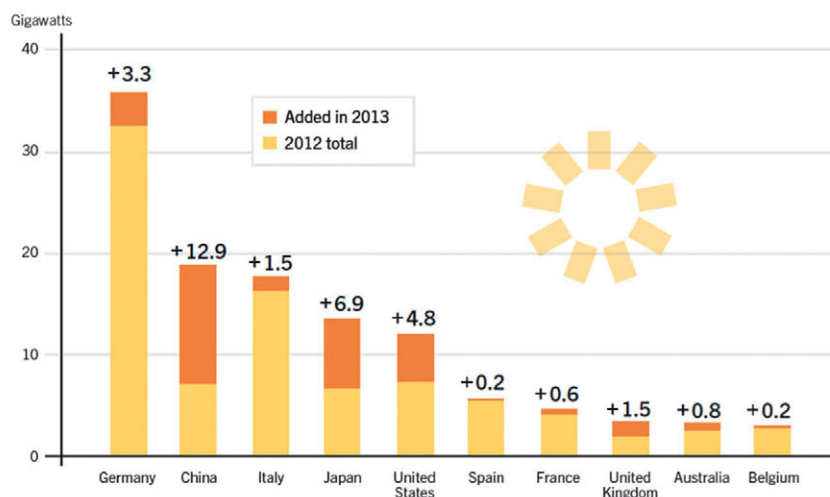


Abbildung 2  
Globale Schwerpunkte installierter PV-Anlagen

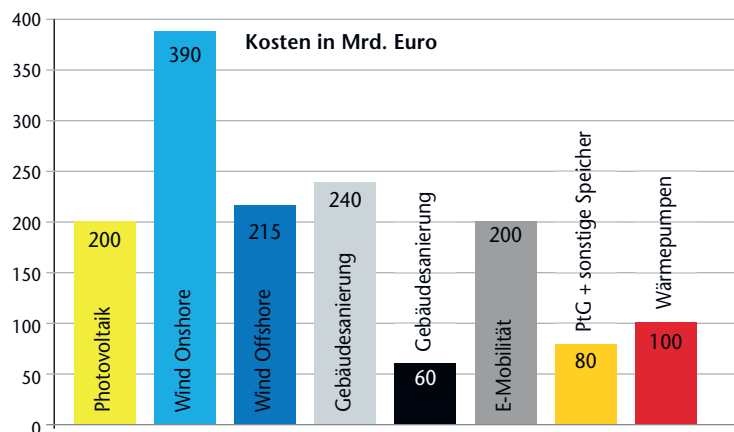
(Quelle: Renewables 2014 Global Status Report)

Wenn sich die räumliche Ausbreitung fortsetzt und Transformationsprozesse der Energiesysteme hin zu erneuerbaren Energien und Energieeffizienz eine globale Verbreitung finden, sind in den kommenden Dekaden sehr hohe jährliche Investitionen in die weltweite Energiesysteminfrastruktur zu erwarten.

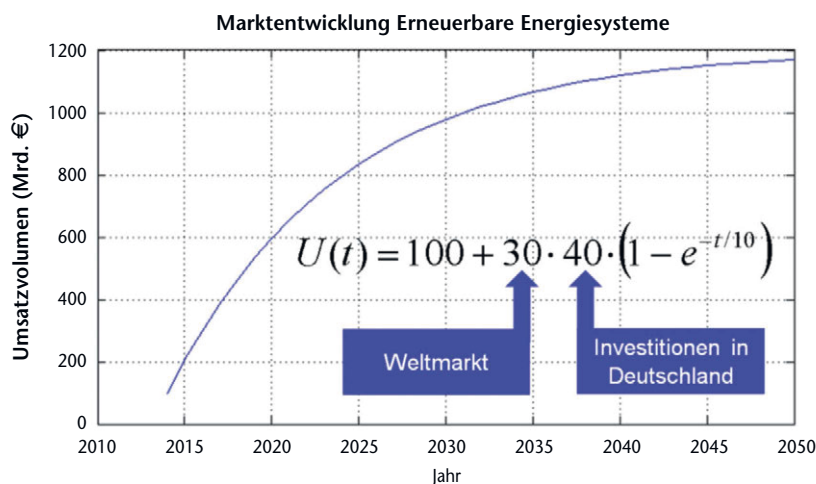
Eine Vorstellung über die Größenordnung dieser Märkte für Energietechnologien vermittelt die Übertragung der deutschen Energiewende-Investitionen auf den globalen Maßstab: Für die Realisierung der deutschen Energiewende bis zum Jahr 2050 sind Investitionen in die Energiesysteminfrastruktur in Höhe von ca. 1.500 Mrd. Euro erforderlich, die sich bei einer zeitlichen Streckung bis 2050 auf ca. 40 Mrd. Euro pro Jahr verteilen. Diese Kosten werden nach und nach durch die Einsparungen von Primärenergieimporten kompensiert, die 2013 ca. 87 Mrd. Euro betrugen. *Abbildung 3* zeigt wesentliche Systemkomponenten und die bis 2050 kumulierten Investitionskosten.

Für eine qualifizierte Schätzung des gesamten Weltmarktes für Erneuerbare-Energien-Technologien kann das in Deutschland erforderliche Investment von 40 Mrd. € pro Jahr auf den globalen Maßstab übertragen werden. Für die Schätzung wird angenommen, dass sich die Transformationsprozesse der weltweiten Energiesysteme nach und nach ausbreiten und intensivieren, so dass 2050 ein Maximum auf dem Niveau des deutschen Marktes erreicht ist. Unter der modellhaften Prämisse, dass Deutschland in Bezug auf energetische und andere Parameter – nicht die Population – ein Dreißigstel der Welt ausmacht, ergibt sich eine Investitionskurve, die bis zum Jahr 2050 einen weltweiten Investitionsstrom von 1.200 Mrd. Euro pro Jahr in erneuerbare Energien Technologien hätte (*Abbildung 4*).

*Abbildung 3*  
Kumulierte Kosten der  
Energiesystem-Infra-  
struktur bis 2050  
(Quelle: IWES-Berechnungen  
2014)



*Abbildung 4*  
Schätzung des Investi-  
tionsvolumens in die  
Transformation der  
Energiesysteme  
(Quelle: IWES-Berechnungen  
2014)



## Wettbewerb in Energieforschung und -industrie

Die interessante Frage ist: Wie stark kann Deutschland zukünftig an diesen Märkten teilnehmen?

Deutschland ist nach Untersuchungen im Rahmen der Erstellung des Umweltwirtschaftsbericht (vgl. BMU 2011) im Bereich der Umwelttechnologien, insbesondere aber auch in den Bereichen erneuerbare Energien und Energieeffizienz, sehr gut auf den Weltmärkten aufgestellt und weist hohe Marktanteile im Anlagenbau und im Bereich der Systemtechnik auf. Nach Einschätzung des FVEE hat die Umsetzung der deutschen Energiewende die Innovationstätigkeit in Forschung und Entwicklung für Energietechnologien wesentlich befördert und damit zur führenden Position deutscher Unternehmen dieser Branche beigetragen. Doch der technologische Vorsprung muss durch weitere Innovationen gehalten und produktiv in Wertschöpfung umgesetzt werden, denn Deutschland steht im Wettbewerb mit den forschungs- und industriepolitischen Strategien anderer Länder.

Bereits heute ist in einigen Marktsegmenten ein Verdrängungswettbewerb zu beobachten, der zu räumlichen Konzentrationen von Energietechnologie-Industrien in wenigen Ländern führt. Teilweise werden diese Entwicklungen in bestimmten Ländern von klaren industrie- und forschungspolitischen Strategien begleitet, um im internationalen technologischen Wettbewerb als führende Industrienation erfolgreich zu sein und dominante Marktpositionen der eigenen Industrien aufzubauen. Die bekanntesten Beispiele sind die Photovoltaik-Industrie in China/Südostasien und die starke Konzentration der Lithium-Ionen-Industrie in Südkorea. *Tabelle 1* zeigt eine Zusammenstellung wesentlicher Energiewende-Technologien und der internationalen Verteilung ihrer industriellen Schwerpunkte.

Die globale Betrachtung der Energietechnik-Märkte lässt erwarten, dass sich die geographischen Schwerpunkte sowohl der Technologie-Anbieter als auch der Nachfrager weiterhin dynamisch verändern werden. Um im internationalen Wettbewerb der Energiewende-Technologien zu bestehen, müssen Forschung und Industrie aufeinander abgestimmt sein. Dies liefert die Voraussetzungen für Innovationen und Technologieführerschaft.

Land	Technologieausrichtung
Deutschland	Technologievorreiter, Anlagenbau,
China	PV, Wind und alle wesentlichen übrigen
Japan	PV, E-Mobilität, Batterien
USA	PV, Batterien, Systemtechnik, Wind
Südkorea	Batterien, Brennstoffzellen, Wind
Dänemark	Wind, EE-Wärme
Frankreich	Leistungselektronik, Systemtechnik
Indien	PV, Wind
Brasilien	Wind, CSP, Solarthermie

Tabelle 1

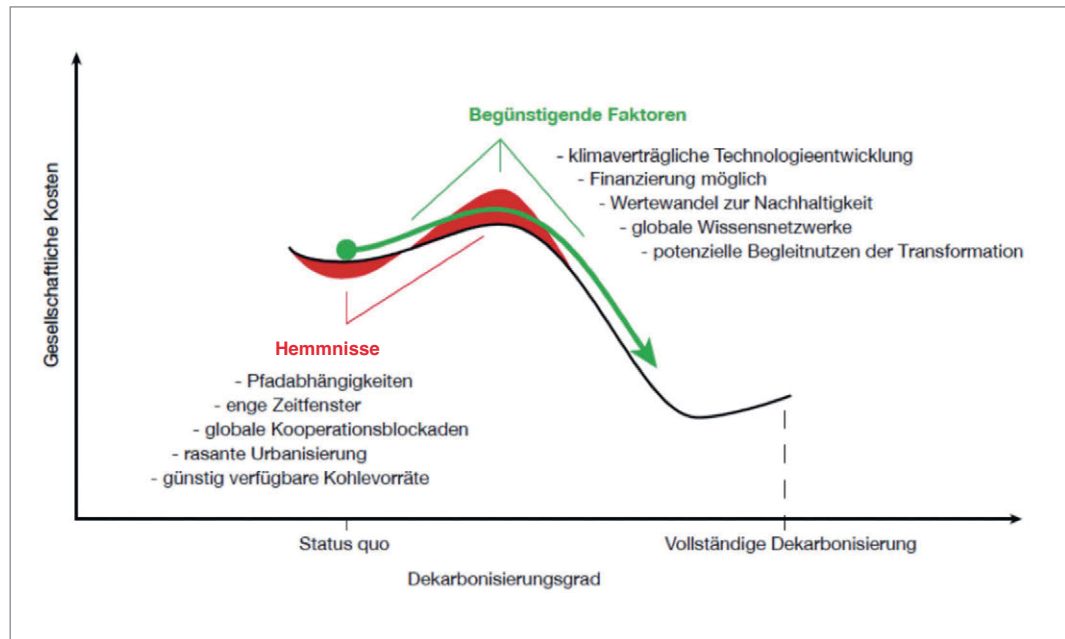
**Globale Verteilung industrieller Schwerpunkte für Energiewende-Technologien**  
(Quelle: FVEE-Zusammenstellung)

## Push-Pull-Verhältnis von Energiewende-Innovationen und -Märkten

Damit neue Energietechnologien auf den internationalen Energiewende-Märkten erfolgreich sind, müssen sie die spezifischen Anforderungen dieser Märkte gut treffen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die Entwicklung von Energietechnologien und die Eigenschaften der Energiewende-Märkte wechselseitig beeinflussen: Technologien auf der Grundlage wettbewerbsfähiger Innovationen werden Marktanteile von herkömmlichen Technologien übernehmen und diese Märkte mit der resultierenden technologischen Transformation strukturell verändern. Zugleich wirken die Anforderungen der Märkte auf die Innovationstätigkeit der Technologieanbieter, die bemüht sind, die „richtigen“ Produkte zu entwickeln, um einen Innovations- und Technologievorsprung zu generieren und dadurch Exportchancen in globalen Zukunftsmärkten zu maximieren.

Die Entwicklung von Energiewende-Technologien und die Wirkungen der Marktkräfte stehen insofern in einem Push-Pull-Verhältnis, das unter forschungs- und industriepolitischen Aspekten von hoher Bedeutung ist. Daher bedarf es eines besseren Verständnisses für die Entstehung energietechnologischer Innovationen und den Aufbau von Leittechnologien sowie für das Zusammenspiel neuer Technologien und ihrer systemischen Wechselwirkungen in unterschiedlichen Märkten. Im Mittelpunkt des Interesses steht dabei die Entwicklung von Systeminnovationen, die Technologien in das infrastrukturelle, ökonomische, soziale und institutionelle Umfeld einbetten und dadurch erst eine Marktdurchdringung ermöglichen („embedded technologies“).

Abbildung 5  
Hemmnisse und  
begünstigende  
Faktoren der System-  
transformation  
(WBGU 2011)



Auf der „Marktseite“ spielen Pfadabhängigkeiten und die Nutzung relevanter Entscheidungszeitfenster eine zentrale Rolle für erfolgreiche Energiewende-Prozesse. Dabei kommen sowohl den Transformationsprozess eher hemmende Aspekte zum Tragen, als auch den Wandel begünstigende Faktoren (z. B. Wertewandel zur Nachhaltigkeit) (siehe [Abbildung 5](#)).

Für die Passform von innovativen Ansätzen sind zentrale Fragestellungen:

- wie sich die relevanten (Energie-)Systeme in verschiedenen Zeitabschnitten und geographischen Regionen zusammensetzen
- wie Entscheidungen in diesen Systemen getroffen werden
- welche soziotechnischen Interaktionen hier von besonderer Bedeutung sind.

Für die Analyse von Veränderungsmöglichkeiten und -dynamiken braucht es Kenntnisse über das Potenzial technologischer Änderungen auf der einen Seite und von gesellschaftlichen Änderungsprozessen auf der anderen Seite. Erfahrungen aus bisherigen Transformationsprozessen zeigen, dass diese besonders dann schnell verlaufen, wenn bestehende Strukturen erkennbar an ihre Grenzen kommen und bisherige Verhaltensmuster sich als nicht mehr tragfähig erweisen.

## Innovationspotenzial von Energiewende-Technologien

Unternehmen und Forschungseinrichtungen sowie die Institutionen der Forschungsförderung stehen also vor der strategischen und technischen Herausforderung, innovative Energiewende-Produkte und Dienstleistungen für die Märkte der Zukunft zu entwickeln, die zum richtigen Zeitpunkt sowohl marktreif als auch wettbewerbsfähig sind und den spezifischen Anforderungen der unterschiedlichen Energiesysteme gerecht werden.

Die FVEE-Institute widmen sich dieser Herausforderung und arbeiten gemeinsam daran, einen Innovations- und Technologievorsprung zu generieren und dadurch Exportchancen in den globalen Zukunftsmärkten zu maximieren. Die folgende [Tabelle 2](#) veranschaulicht wesentliche Forschungsansätze zur Ausschöpfung des Innovationspotenzials.











































Technologiebereich	FVEE-Institute mit Kernkompetenzen	aktuelle Forschungsschwerpunkte (Auswahl)
Photovoltaik	     	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kostensenkung durch höhere Wirkungsgrade, Materialeinsparung und Prozesstechnik</li> <li>• Erforschung neuer Modulkonzepte</li> </ul>
Windenergie (On- und Offshore)	 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kostenreduktion durch Weiterentwicklung der Anlagentechnik (z. B. neue Verbundwerkstoffe, automatisierte Produktionsverfahren, adaptive Rotoren)</li> <li>• adaptive Betriebsführungskonzepte für die systemtechnische Einbindung von Windparks</li> </ul>
Geothermie		<ul style="list-style-type: none"> <li>• nachhaltige Lagerstättenproduktivität, effizienter Anlagenbetrieb, Systemoptimierung</li> <li>• wirtschaftliche Systeme zur Aquiferspeicherung von Wärme/Kälte</li> </ul>
Bioenergie	  	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systemtechnische Optimierung von Biogasanlagen</li> <li>• Entwicklung von Anlagenkonzepten für ökologisch nachhaltige Substrate</li> </ul>
Concentrating Solar Power (CSP)	 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kostenreduktion durch Optimierung des thermischen und optischen Kraftwerkswirkungsgrads</li> <li>• Entwicklung kostengünstiger thermischer Speicher, Entwicklung neuer Wärmeträgerfluide</li> </ul>
Effizienztechnologien im Wärmebereich	       	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ersatz fossil befeuerter Wärmesysteme</li> <li>• verbesserte Systemkonfigurationen (z. B. kalte Nahwärmesysteme, angepasste Wärmepumpen und dezentrale Klein-Wärmeerzeuger auf Gas- oder Strombasis)</li> <li>• neue Systeme für Hoch- und Niedertemperatur-Wärmespeicher</li> <li>• gekoppelte dezentrale Strom-Wärme-Versorgung</li> </ul>
Energieeffiziente Bau- und Anlagentechnik	   	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Innovative, hocheffiziente Gebäudehüllen</li> <li>• neue Niedertemperaturverteilung und -übertragungssysteme: Hochtemperatur-Kühlung, Niedertemperatur-Wärmenetze zur Nutzung von Abwärmepotenzialen</li> <li>• Kaskadierung (Mehrfachnutzung von Massenströmen) in der Versorgung für Städte oder Industriestandorte</li> </ul>
Effizienztechnologien in den Bereichen Stromanwendung und Mobilität	     	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energieeffiziente Beleuchtungssysteme</li> <li>• Effizienzkonzepte für die Industrie</li> <li>• Entwicklung neuer Mobilitätskonzepte</li> </ul>
Neue Antriebstechnologien im Verkehr (Elektromobilität, Wasserstoff)	   	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systemintegration von Elektromobilität (Vehicle-to-Grid)</li> <li>• Weiterentwicklung von Elektromotoren, Brennstoffzellen, Steuerungselektronik und Ladesystemen</li> </ul>
Vernetzung von Strom-, Wärme- und Verkehrstechnologien	     	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systemanalytische Modellierungen</li> <li>• Interaktion von Gebäuden mit dem neuen Stromsystem/Energiesystem <ul style="list-style-type: none"> <li>– Gebäude als Speicher</li> <li>– Stationäre Immobilien (dynamische Betrachtung von Gebäudenutzungen)</li> <li>– Gebäude und Städte als steuerbare Last</li> <li>– Gebäude und Städte als Erzeuger von Wärme und Strom (Fassaden/Gebäudehüllen-integrierte Systeme und dezentrales Energiemanagement)</li> <li>– Neue Geschäftsmodelle für Versorger/ Stadtwerke, Gebäudebetreiber und Nutzer</li> </ul> </li> </ul>

Tabelle 2

Wesentliche Forschungsansätze zur Ausschöpfung des Innovationspotenzials von Energiewende-Technologien

Fortsetzung Tabelle auf der nächsten Seite

Technologiebereich	FVEE-Institute mit Kernkompetenzen	aktuelle Forschungsschwerpunkte (Auswahl)
Strom-Speichertechnologien	    	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Senkung der Kosten sowie Steigerung der Energiedichte, Kosten, Lebensdauer und Sicherheit von kurzfristigen und saisonalen Stromspeichern</li> <li>• Systemintegration von Speichertechnologien</li> </ul>
Energiesystemtechnik und Netze	   	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entwicklung von neuen Netzmanagementsystemen und Netzregelungsverfahren</li> <li>• Steuerungs- und Regelungstechnik für fluktuierende und bidirektionale Systeme</li> </ul>
Neue Energiematerialien	      	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neue Phasenwechselmaterialien im Beleuchtungs- und Wärmebereich</li> <li>• Photovoltaische Absorbermaterialien</li> <li>• Langzeitstabile und kostengünstige Elektroden und Membranen für katalytische Prozesse</li> </ul>
Übergeordnete Aspekte der Systemtransformation und Anpassung der Infrastruktursysteme	    	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transformationskonzepte (Lösungen für ökonomische, gesellschaftliche, ökologische Probleme der Energiewende)</li> <li>• Techno-ökonomische Bewertung von Energietechnologien</li> <li>• Ökobilanzen</li> <li>• Strukturwandel-Management</li> </ul>

## Literatur

BMU 2011: Umweltwirtschaftsbericht 2011, Berlin, 2011.

BMWi 2013: Gesamtwirtschaftliche Effekte der Energiewende.

DLR, DIW, GWS, ZSW, PROGROS 2014: Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland im Jahr 2013.

Gerhardt et al. 2014: Geschäftsmodell Energiewende – Eine Antwort auf das „Die-Kosten-der-Energiewende“-Argument, Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik.

Hirschl et al. 2010: Kommunale Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung.

IFEU/GWS 2012: Volkswirtschaftliche Effekte der Energiewende, Institut für Energie- und Umweltforschung, Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturfor-

Maier/Schmidt 2014: Erneuerbare Energien – Ein Gewinn für den Wirtschaftsstandort Deutschland, in: Renew Spezial Ausgabe 72 / April 2014, Hintergrundinformationen der Agentur für Erneuerbare Energien.

Prognos, ewi, gws 2014: Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (Projekt 57/12), Basel, 2014.

Renewable Energy Policy Network for the 21st Century: Renewables 2014 Global Status Report.

Umweltbundesamt 2014: Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050, Climate Change 07/2014, Dessau 2014.

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU): Welt im Wandel – Gesellschaftsvertrag für eine große Transformation, Berlin 2011.